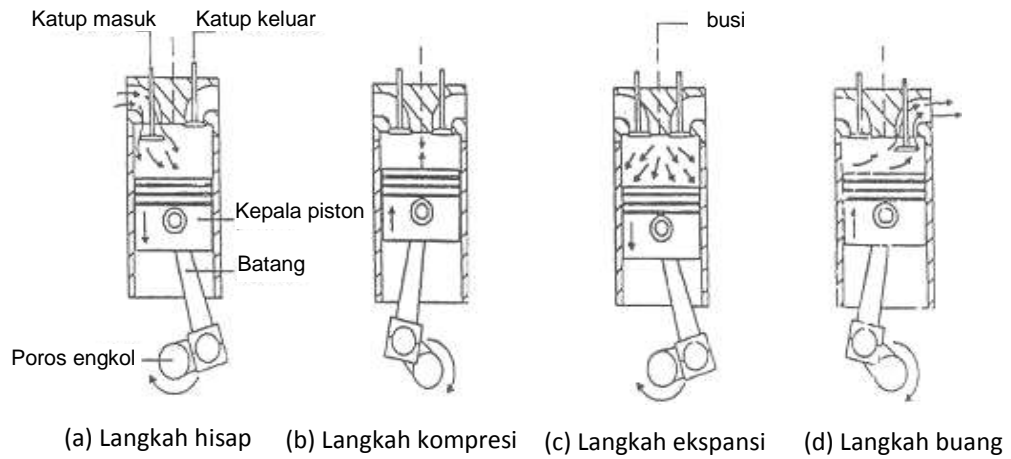


II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor Bakar

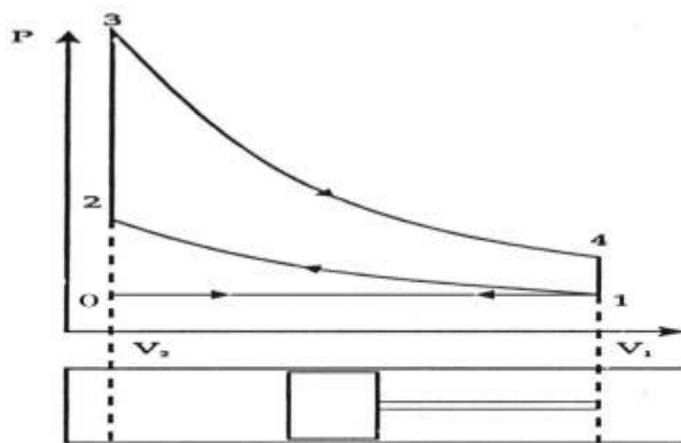
Motor bakar adalah alat yang berfungsi untuk mengkonversikan energi termal dari pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis, dimana proses pembakaran berlangsung di dalam silinder mesin itu sendiri sehingga gas pembakaran bahan bakar yang terjadi langsung digunakan sebagai fluida kerja untuk melakukan kerja mekanis (Wardono, 2004).

Motor bakar pada umumnya dibedakan menjadi dua, yaitu motor bensin dan motor diesel. Motor bensin juga terbagi dua yaitu motor bensin 4-langkah dan motor bensin 2-langkah. Motor bakar bensin 4-langkah adalah salah satu jenis mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang beroperasi menggunakan udara bercampur dengan bensin dan untuk menyelesaikan satu siklusnya.



Gambar 1. Siklus motor bakar bensin 4-langkah

Untuk lebih jelasnya proses-proses yang terjadi pada motor bakar bensin 4-langkah dapat dijelaskan melalui siklus ideal dari siklus udara volume konstan seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram $p-v$ dari siklus ideal motor bakar bensin 4-langkah (Wardono, 2004)

Keterangan mengenai proses-proses pada siklus udara volume konstan dapat dijelaskan sebagai berikut (Wardono, 2004) :

1. Proses $0 \rightarrow 1$: Langkah hisap (*Intake*)

Pada langkah hisap campuran udara-bahan bakar dari karburator terhisap masuk ke dalam silinder dengan bergeraknya piston ke bawah, dari TMA menuju TMB. Katup hisap pada posisi terbuka, sedang katup buang pada posisi tertutup. Di akhir langkah hisap, katup hisap tertutup secara otomatis. Fluida kerja dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik konstan. Proses dianggap berlangsung pada tekanan konstan.

2. Proses $1 \rightarrow 2$: Langkah kompresi (*Compression*)

Pada langkah kompresi katup hisap dan katup buang dalam keadaan tertutup. Selanjutnya piston bergerak ke atas, dari TMB menuju TMA. Akibatnya campuran udara-bahan bakar terkompresi. Proses kompresi ini menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur dan tekanan campuran tersebut, karena volumenya semakin kecil. Campuran udara-bahan bakar terkompresi ini menjadi campuran yang sangat mudah terbakar. Proses kompresi ini dianggap berlangsung secara isentropik.

3. Proses $2 \rightarrow 3$: Langkah pembakaran volume konstan

Pada saat piston hampir mencapai TMA, loncatan nyala api listrik diantara kedua elektroda busi diberikan ke campuran udara-bahan bakar terkompresi sehingga sesaat kemudian campuran udara-bahan bakar ini terbakar. Akibatnya terjadi kenaikan temperatur dan tekanan yang drastis. Kedua

katup pada posisi tertutup. Proses ini dianggap sebagai proses pemasukan panas (kalor) pada volume konstan.

4. Proses $3 \rightarrow 4$: Langkah kerja/ekspansi (*Expansion*)

Kedua katup masih pada posisi tertutup. Gas pembakaran yang terjadi selanjutnya mampu mendorong piston untuk bergerak kembali dari TMA menuju TMB. Dengan bergeraknya piston menuju TMB, maka volume gas pembakaran di dalam silinder semakin bertambah, akibatnya temperatur dan tekanannya turun. Proses ekspansi ini dianggap berlangsung secara isentropik.

5. Proses $4 \rightarrow 1$: Langkah buang volume konstan (*Exhaust*)

Saat piston telah mencapai TMB, katup buang telah terbuka secara otomatis sedangkan katup hisap masih pada posisi tertutup. Langkah ini dianggap sebagai langkah pelepasan kalor gas pembakaran yang terjadi pada volume konstan.

6. Proses $1 \rightarrow 0$: Langkah buang tekanan konstan

Selanjutnya piston bergerak kembali dari TMB menuju TMA. Gas pembakaran didesak keluar melalui katup buang (saluran buang) dikarenakan bergeraknya piston menuju TMA. Langkah ini dianggap sebagai langkah pembuangan gas pembakaran pada tekanan konstan.

B. Bahan Bakar Pada Mesin Bensin

Jenis Bahan Bakar Minyak Bensin merupakan nama umum untuk beberapa jenis BBM yang diperuntukkan untuk mesin dengan pembakaran dengan pengapian. Bensin adalah salah satu bahan bakar yang sering dipakai pada mesin pembakaran dalam untuk mendapatkan energy. Bensin dihasilkan oleh penyempurnaan minyak bumi yang diambil dari dalam tanah.

Syarat-syarat utama pada bensin sebagai bahan bakar adalah :

1. Daya penguapan baik

Adalah kemampuan untuk bercampur dengan udara secara homogen. Sehingga Gas (campuran udara + bensin) yang masuk ke setiap silinder akan sama.

2. Tidak mengandung unsur –unsur yang dapat merusak

Bila hasil pembakaran menyebabkan terjadinya karbon deposit pada ruang bakar, adanya sulfur yang melekat pada dinding silinder dan unsur lainnya yang bersifat abrasive (mengamplas), maka akan berkurangnya umur mesin.

3. Sifat anti knock yang baik

Knock atau knocking adalah suara ketukan yang terjadi dalam silinder pada saat akhir pembakaran sehingga pengendaraan menjadi abnormal.

4. Mempunyai angka oktan yang sesuai.

Angka oktan adalah angka yang menunjukkan kemampuan bertahan bahan

bakar bensin terhadap ketukan. Makin besar angka oktan ini maka akan makin mudah bahan bakar terbakar, sehingga terjadi knock akan lebih sukar, untuk bensin premium angka oktannya 88, sedang pertamax 92, dan pertamax plus 95.

Di Indonesia terdapat beberapa jenis bahan bakar jenis bensin yang memiliki nilai mutu pembakaran berbeda. Nilai mutu jenis BBM bensin ini dihitung berdasarkan nilai RON (Randon Otcane Number), yang dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu (Wijayanto,2009):

1. Premium (RON 88)

Premium adalah bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan yang jernih. Warna kuning tersebut akibat adanya zat pewarna tambahan (dye). Penggunaan premium pada umumnya adalah untuk bahan bakar kendaraan bermotor bermesin bensin, seperti : mobil, sepeda motor, motor tempeldan lain-lain. Bahan bakar ini sering juga disebut motor gasoline atau petrol.

2. Pertamax (RON 92)

Ditujukan untuk kendaraan yang mempersyaratkan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan tanpa timbal (*unleaded*). Pertamax juga direkomendasikan untuk kendaraan yang diproduksi diatas tahun 1990 terutama yang telah menggunakan teknologi setara dengan elektronik *fuel injection* dan *catalytic converters*.

3. Pertamax Plus (RON 95)

Jenis BBM ini telah memenuhi standar *performance International World Wide Fuel Charter* (WWFC). Ditujukan untuk kendaraan yang berteknologi mutakhir yang mempersyaratkan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan ramah lingkungan. Pertamax Plus sangat direkomendasikan untuk kendaraan yang memiliki kompresi ratio $> 10,5$ dan juga yang menggunakan teknologi *Electronic Fuel Injection* (EFI), *Variable Valve Timing Intelligent* (VVTI), (VTI), *Turbochargers* dan *catalytic converters*.

C. Teori Pembakaran

1. Konsep Pembakaran

Pada motor bakar, proses pembakaran merupakan reaksi kimia yang berlangsung sangat cepat antara bahan bakar dengan oksigen yang menimbulkan panas sehingga mengakibatkan tekanan dan temperatur gas yang tinggi. Kebutuhan oksigen untuk pembakaran diperoleh dari udara yang merupakan campuran antara oksigen dan nitrogen, serta beberapa gas lain dengan persentase yang relatif kecil dan dapat diabaikan. Reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen yang diperoleh dari udara akan menghasilkan produk hasil pembakaran yang komposisinya tergantung dari kualitas pembakaran yang terjadi.

Pembakaran di atas dikatakan sempurna bila campuran bahan bakar dan oksigen (dari udara) mempunyai perbandingan yang tepat, hingga tidak diperoleh sisa. Bila oksigen terlalu banyak, dikatakan campuran "*lean*",

pembakaran ini menghasilkan api oksidasi. Sebaliknya, bila bahan bakarnya terlalu banyak (atau tidak cukup oksigen), dikatakan campuran "*rich*", pembakaran ini menghasilkan api reduksi. Berat massa bahan yang masuk ruang pembakaran = berat massa bahan yang keluar.

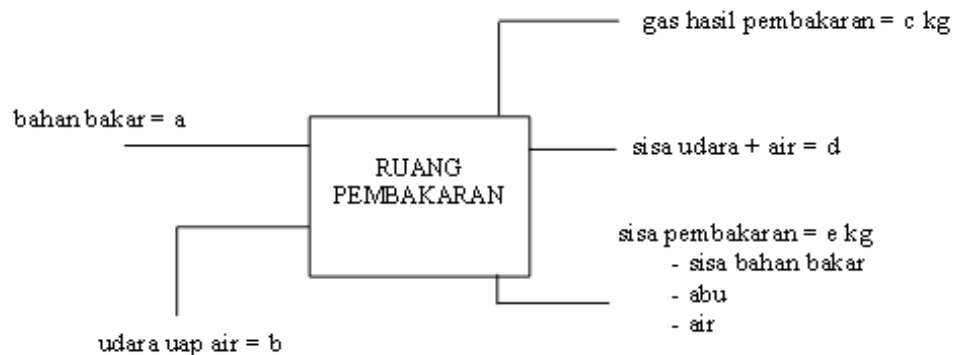
Skema kesetimbangan bahan bakar masuk hingga menjadi gas buang diperlihatkan pada Gambar 3 Pada kesetimbangan tersebut berlaku

$$(a + b) = (c + d + e)$$

a = berat bahan bakar kering + air (kelembaban).

b = berat udara + uap air yang terkandung dalam udara.

Air dalam d dan e = (air yang terkandung dalam bahan bakar) + (air dari kelembaban udara) + (air yang terbentuk dari reaksi pembakaran).



Gambar 3. Skema sistem penyaluran bahan bakar sampai menjadi gas buang (Mrihardjono, 2011)

Supaya dihasilkan pembakaran yang baik, maka diperlukan syarat-syarat sebagai berikut:

- a. Jumlah udara yang sesuai
- b. Temperatur yang sesuai dengan penyalaan bahan bakar
- c. Waktu pembakaran yang cukup

d. Kerapatan yang cukup untuk merambatkan api dalam silinder.

2. Jenis Pembakaran

Produk pembakaran campuran udara-bahan bakar dapat dibedakan menjadi:

a. Pembakaran sempurna (pembakaran ideal)

Setiap pembakaran sempurna menghasilkan karbon dioksida dan air.

Peristiwa ini hanya dapat berlangsung dengan perbandingan udara-bahan bakar stoikiometris dan waktu pembakaran yang cukup bagi proses ini.

b. Pembakaran tak sempurna

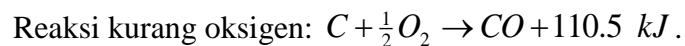
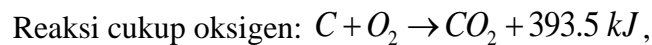
Peristiwa ini terjadi bila tidak tersedia cukup oksigen. Produk pembakaran ini adalah hidrokarbon tak terbakar dan bila sebagian hidrokarbon terbakar maka aldehide, ketone, asam karbosiklis dan sebagian karbon monoksida menjadi polutan dalam gas buang.

c. Pembakaran dengan udara berlebih

Pada kondisi temperatur tinggi nitrogen dan oksigen dari udara pembakaran akan bereaksi dan akan membentuk oksida nitrogen (NO dan NO_2). Disamping itu produk yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat berupa oksida timah, oksida hlogenida, oksida sulfur, serta emisi evaporatif seperti hidro karbon ringan yang teremisi dari sistem bahan bakar (Mrihardjono, 2011).

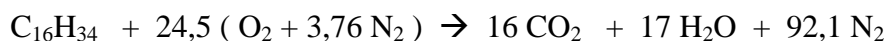
D. Persamaan Reaksi Pembakaran

Selama proses pembakaran, butiran minyak bahan bakar menjadi elemen komponennya, yaitu hidrogen dan karbon, akan bergabung dengan oksigen untuk membentuk air, dan karbon bergabung dengan oksigen menjadi karbon dioksida. Kalau tidak cukup tersedia oksigen, maka sebagian dari karbon akan bergabung dengan oksigen menjadi karbon monoksida. Akibat terbentuknya karbon monoksida, maka jumlah panas yang dihasilkan hanya 30% dari panas yang ditimbulkan oleh pembentukan karbon monoksida sebagaimana ditunjukkan oleh reaksi kimia berikut (Wardono, 2004).

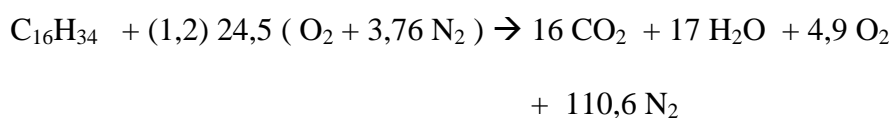


Keadaan yang penting untuk pembakaran yang efisien adalah gerakan yang cukup antara bahan bakar dan udara, artinya distribusi bahan bakar dan bercampurnya dengan udara harus bergantung pada gerakan udara yang disebut pusaran. Energi panas yang dilepaskan sebagai hasil proses pembakaran digunakan untuk menghasilkan daya motor bakar tersebut.

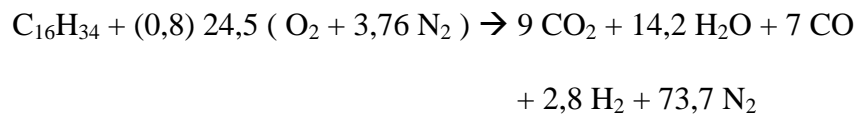
Reaksi Campuran Stoikiometri :



Reaksi Campuran Miskin-Bahan bakar :



Reaksi Campuran Kaya-Bahan bakar :

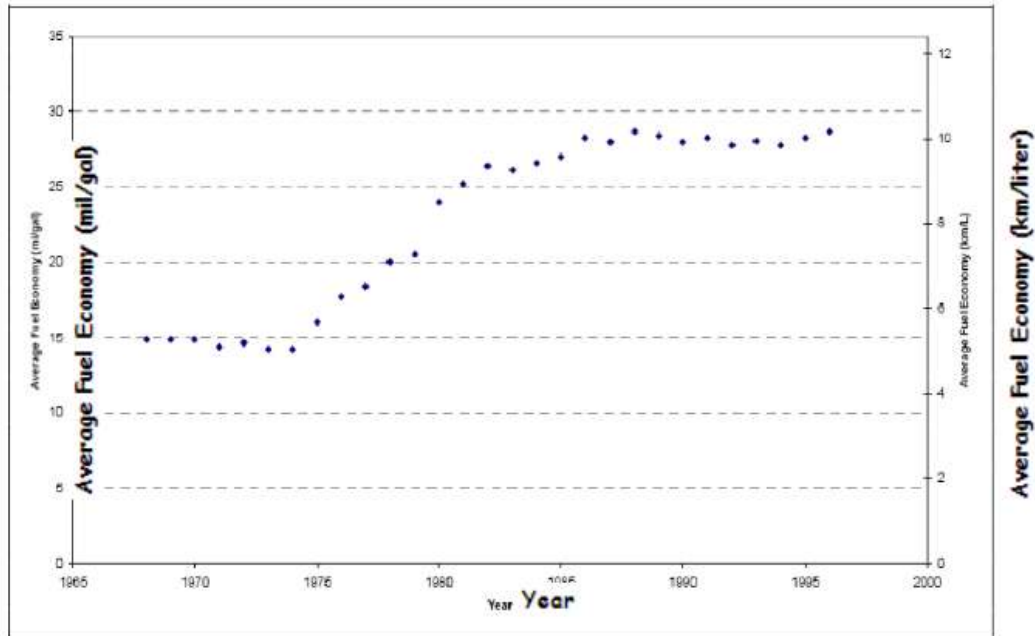


Secara lebih detail dapat dijelaskan bahwa proses pembakaran adalah proses oksidasi (penggabungan) antara molekul-molekul oksigen ('O') dengan molekul-molekul (partikel-partikel) bahan bakar yaitu karbon ('C') dan hidrogen ('H') untuk membentuk karbon dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O) pada kondisi pembakaran sempurna. Di sini proses pembentukan CO₂ dan H₂O hanya bisa terjadi apabila panas kompresi atau panas dari pemantik telah mampu memisah/ memutuskan ikatan antar partikel oksigen (O-O) menjadi partikel 'O' dan 'O', dan juga mampu memutuskan ikatan antar partikel bahan bakar (C-H dan/atau C-C) menjadi partikel 'C' dan 'H' yang berdiri sendiri. Baru selanjutnya partikel 'O' dapat beroksidasi dengan partikel 'C' dan 'H' untuk membentuk CO₂ dan H₂O. Jadi dapat disimpulkan bahwa proses oksidasi atau proses pembakaran antara udara dan bahan bakar tidak pernah akan terjadi apabila ikatan antar partikel oksigen dan ikatan antar partikel bahan bakar tidak diputus terlebih dahulu (Wardono, 2004).

E. Parameter Kendaraan Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

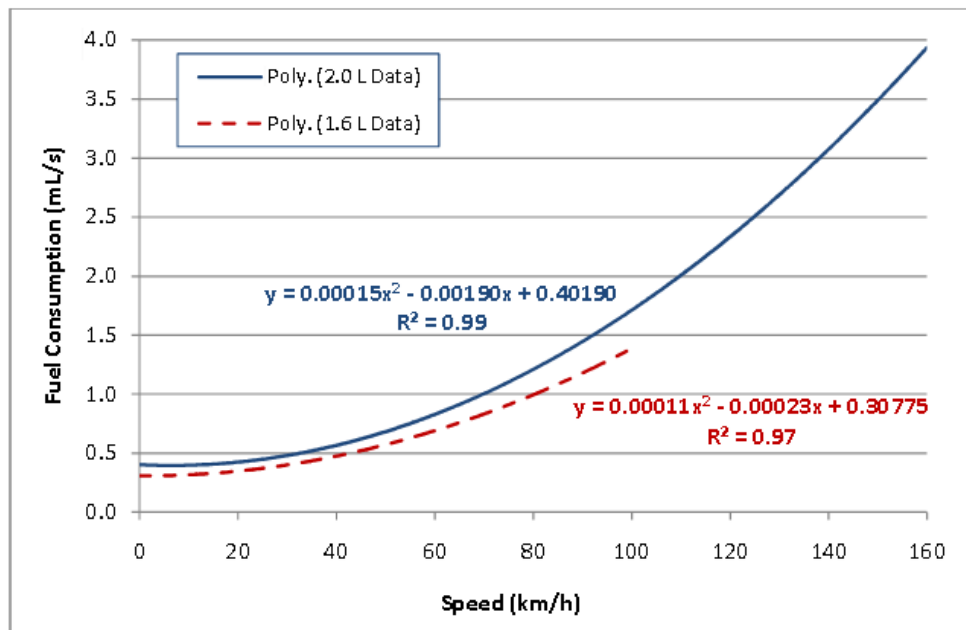
Konsumsi bahan bakar mengalami peningkatan yang tajam dalam periode tahun 1975 sampai dengan tahun 1980 (Bennett, 2001), seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Peningkatan ini terus berlanjut hingga tahun 2000 dan diprediksikan terus meningkat karena bertambahnya jumlah kendaraan

bermotor. Konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satu faktor tersebut adalah adalah kecepatan kendaraan.



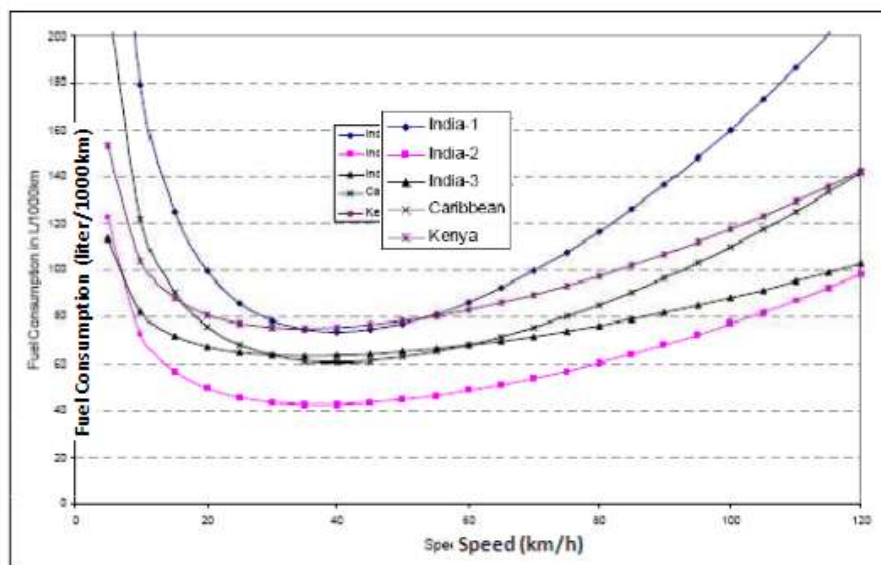
Gambar 4. Perubahan konsumsi bahan bakar dari tahun 1968 (Bennet, 2001)

Kecepatan kendaraan sangat berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar. Beberapa percobaan dan penelitian telah dilakukan untuk mengetahui hubungan ini. Pada tahun 1999 Greenwood mengadakan penelitian di Thailand pada mobil penumpang 1,6 dan 2.0 liter. Hubungan ini digambarkan pada Gambar 5 sebagai berikut:



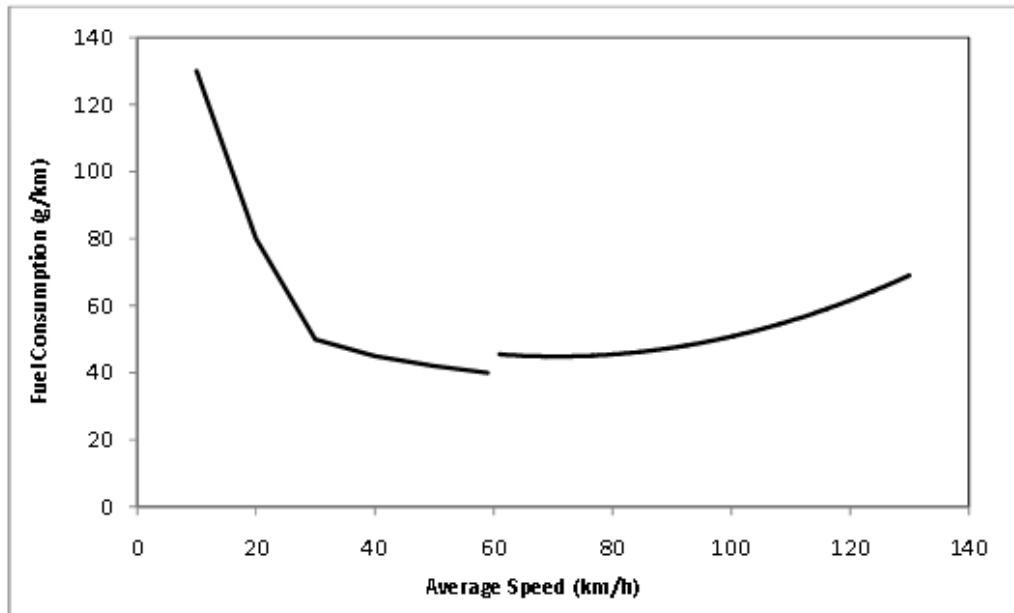
Gambar 5. Hubungan kecepatan dan konsumsi bahan bakar (Bennet, 2001)

Penelitian serupa juga dilakukan di negara-negara lain, diantaranya India, Caribbean dan Kenya. Grafik hubungan kecepatan terhadap konsumsi bahan bakar di negara-negara tersebut diperlihatkan pada Gambar 6 sebagai berikut :



Gambar 6. Efek kecepatan terhadap konsumsi bahan bakar (Bennet, 2001)

Universitas Monas, Canberra, melakukan penelitian serupa pada tahun 2001. Hasil yang diperoleh diantaranya adalah hubungan kecepatan terhadap konsumsi bahan bakar, seperti tersaji pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan laju rata-rata dengan konsumsi bahan bakar (Haworth, 2001)

Gambar 7 memperlihatkan bahwa konsumsi bahan bakar memiliki titik minimum pada kecepatan 60 km/jam. Artinya, efisiensi meningkat ketika laju kendaraan meningkat hingga 60 km/jam dan kembali lebih boros untuk laju di atas 60 km/jam. Ini menunjukkan bahwa kecepatan dan konsumsi bahan bakar memiliki korelasi yang memiliki titik optimum.

F. Perilaku Pengemudi Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Perilaku pengemudi dihubungkan dengan rpm dan kecepatan maksimum yang digunakan. Pengereman dan kecepatan yang tidak stabil dapat mengakibatkan pemborosan bahan bakar. Pada saat kendaraan melaju kencang dan tiba-tiba ada pengereman, maka diperlakukan lagi permulaan dari awal untuk mendapatkan kecepatan dan putaran mesin sehingga daya kerja motor bakar akan membutuhkan konsumsi bahan untuk mendapatkan torsi serta putaran mesin. Semakin tinggi putaran mesin yang diperoleh, maka laju kendaraan semakin meningkat. Perilaku pengendalian yang tidak stabil dan menyebabkan pemborosan bahan bakar tentu akan berpengaruh pada emisi sehingga menimbulkan dampak yang buruk bagi lingkungan dan kesehatan terutama bagi masyarakat perkotaan (Hatzenbichler, 2007 dalam Priangkoso, 2010).

Pada negara berkembang dan maju, perilaku kendaraan bermotor dapat dengan menggunakan *econometer* dan *engine scanner*. Kegunaan *engine scanner* bertujuan untuk mencatat rpm dan kecepatan maksimum, konsumsi bahan bakar dan tempuh. Perilaku pengendara dengan kecepatan tinggi akan berpengaruh pada hubungan kecepatan kendaraan dengan beban aerodinamik yang meningkat pada kecepatan tinggi sehingga mempengaruhi tingkat penggunaan energi (Akcelik, 2003 dalam Priangkoso, 2010).

G. Program Mengemudi *Smart Driving*

Smart driving adalah metode berkendara yang hemat energi, ramah lingkungan, selamat dan nyaman. Metode *smart driving* menggunakan strategi perilaku pengemudi dalam berkendara agar dicapai konsumsi bahan bakar yang paling efisien. Pemakaian bahan bakar yang efisien secara otomatis juga menurunkan tingkat emisi kendaraan. Selain itu, dengan melakukan metode berkendara *smart driving*, keamanan dan kenyamanan akan meningkat, tidak hanya bagi pengemudi, tetapi juga pemakai jalan yang lain.

Perilaku berkendara dalam *smart driving* dapat dibagi menjadi 6 (enam) perilaku yang mempengaruhi efisiensi pemakaian bahan bakar, yaitu *acceleration, braking, gear, idling, speeding* dan *start & shutdown*.

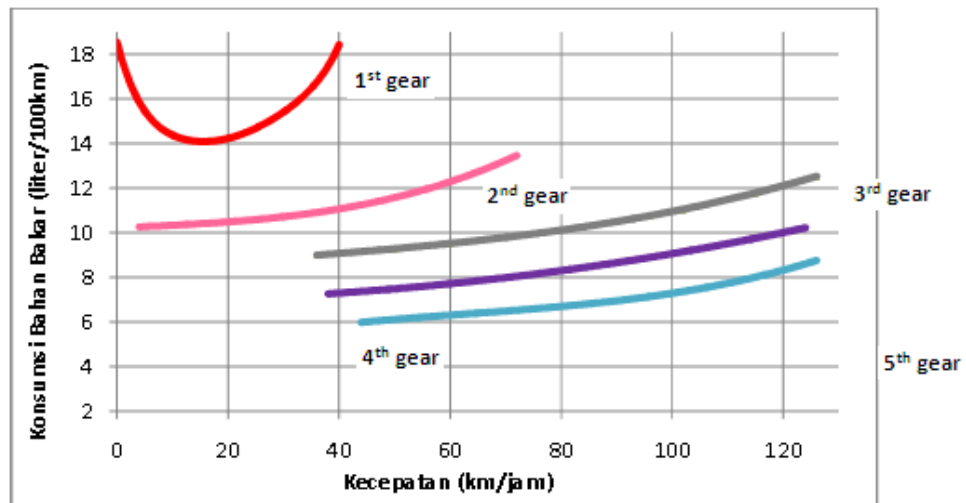
1. *Acceleration*, Perilaku ini dilakukan oleh pengemudi saat mempercepat kendaraan (*speed-up*) dengan cara menekan pedal gas.
2. *Braking*, perilaku ini dilakukan oleh pengemudi untuk memperlambat kendaraan (*slow down*) dengan cara melepas pedal gas dan menekan pedal rem.
3. *Gear*, perilaku ini dikaitkan dengan posisi gigi saat kendaraan bergerak.
4. *Idling*, perilaku ini dikaitkan dengan kebiasaan pengemudi membiarkan mesin kendaraan tetap hidup meskipun sedang berhenti, seperti saat menunggu.
5. *Speeding*, perilaku ini diamati ketika kendaraan berjalan pada kecepatan konstan pada jalan yang lurus seperti jalan tol.

6. *Start & shutdown*, perilaku ini dikaitkan dengan kebiasaan saat menyalakan mesin kendaraan dan mematikannya.

Untuk mendukung program mengemudi ini maka penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui lebih detail mengenai pengaruh dari kecepatan dan posisi gigi terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi CO₂.

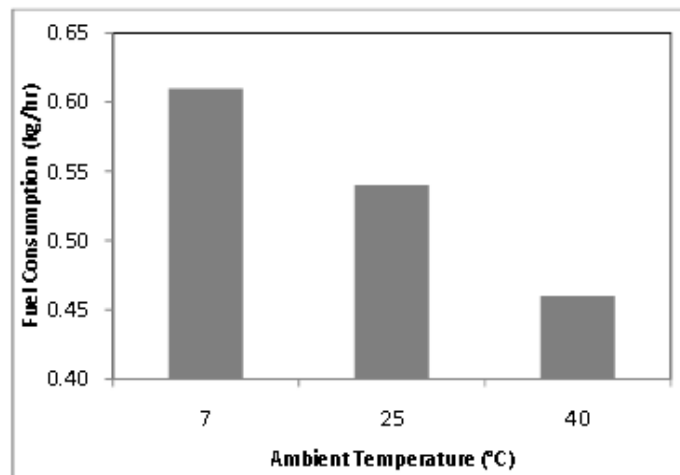
Sebuah program mengemudi di Belanda, *Ecodriving*, yaitu semacam program *smart driving* di Indonesia, telah melakukan penelitian mengenai efek dari pengaruh posisi gigi terhadap konsumsi bahan bakar. Pengaruh posisi gigi juga dapat mempengaruhi konsumsi bahan bakar (Kroon, 2006). Pengaruh dari posisi gigi terhadap konsumsi bahan bakar ditunjukkan pada Gambar 8. Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi posisi gigi maka konsumsi bahan bakar akan semakin rendah.

Selain kecepatan dan posisi gigi, penelitian mengenai faktor lain yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar juga dilakukan, diantaranya adalah putaran mesin, *temperature* lingkungan, equivalent rasio, posisi injakan pedal gas, rasio kompresi, dan sebagainya. Hubungan temperatur lingkungan dengan konsumsi bahan bakar ditunjukkan pada Gambar 9.



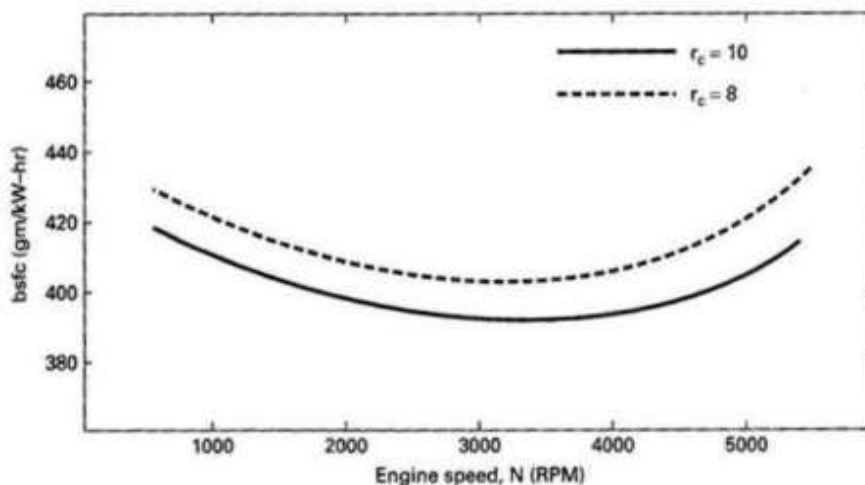
Gambar 8. Hubungan posisi gigi dan kecepatan terhadap konsumsi bahan bakar (Kroon, 2006)

Pada suhu rendah, distribusi bahan bakar dan proses penguapan kurang bagus, mengakibatkan waktu untuk mencapai temperature operasi mesin yang tidak sebentar. Hal ini membuat pembakaran tidak sempurna, sehingga membuat konsumsi bahan bakar yang tinggi (Al Hasan, 2007).



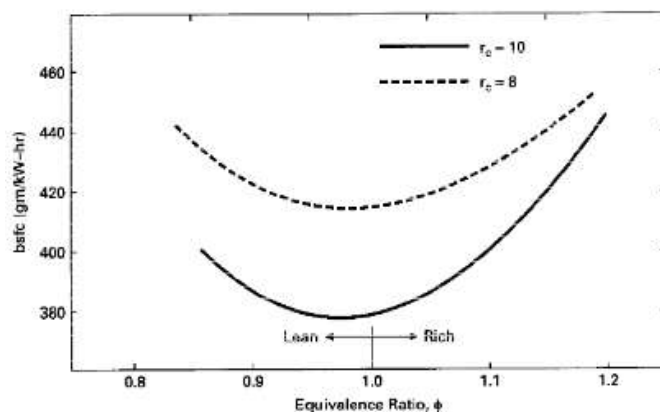
Gambar 9. Hubungan temperature lingkungan terhadap konsumsi bahan bakar pada sistem injeksi elektronik (Al Hasan, 2007)

Gambar 10 dan 11 menunjukkan hubungan konsumsi bahan bakar spesifik dengan kompresi rasio, putaran mesin, rasio equivalen dan volume mesin.



Gambar 10. Hubungan rpm dengan konsumsi bahan bakar spesifik (Pulkrabek, 1997).

Brake specific fuel consumption berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan putar mesin sampai pada titik minimum, kemudian meningkat pada kecepatan tinggi seperti terlihat pada gambar di atas. Konsumsi bahan bakar meningkat pada kecepatan tinggi karena kerugian-kerugian akibat gesekan yang lebih besar. Pada kecepatan mesin yang rendah, waktu tiap siklusnya lebih lama sehingga menyebabkan kerugian panas berlebih dan konsumsi bahan bakar meningkat.



Gambar 11. Hubungan *equivalence ratio* dengan konsumsi bahan bakar spesifik (Pulkrabek, 1997)

Grafik pada Gambar 11 menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar spesifik mencapai titik minimum pada kondisi lean atau miskin bahan bakar (Pulkrabek, 1997). Pada gambar tersebut, konsumsi bahan bakar spesifik mencapai titik minimum pada kondisi *lean* atau miskin bahan bakar.

H. Dampak Kemacetan

Permasalahan kemacetan lalu lintas akan menimbulkan kerugian yang besar bagi pengguna jalan baik waktu yang terbuang maupun kerugian BBM. Kemacetan berlalu lintas (*congestion*) akan berdampak juga pada aspek sosial ekonomi masyarakat dan tingkat emosional karena pengaruh kemacetan karena pergerakan ke suatu tempat melambat. Putaran mesin dan kecepatan kendaraan menjadi bahan pertimbangan untuk melakukan perpindahan ke suatu tempat karena putaran dan kecepatan kendaraan akan mempengaruhi tingkat konsumsi bahan bakar kendaraan (Barth, 2005).

Dampak kemacetan yang terjadi pada saat penambahan lalu lintas karena melebihi kapasitas jalan tersebut. Dari dampak tersebut, akan terjadi penurunan laju kendaraan sehingga waktu tempuh perjalanan akan bertambah dan tentu ini akan mengakibatkan pemborosan konsumsi bahan bakar. Penambahan waktu perjalanan akan menambah biaya perjalan karena adanya peningkatan konsumsi bahan bakar (*level of service*). Konsumsi bahan bakar berbanding lurus dengan jarak tempuh dan waktu sehingga pemakaian BBM juga mengalami peningkatan. Dengan terjadinya perlambatan tentu ini akan menimbulkan kemacetan sehingga akan mempengaruhi konsumsi bahan bakar (Wijayato, 2009).